

## VÝCHODISKA TECHNICKO-EKONOMICKÉ ANALÝZY VÝROBY TEKUTÉHO KOVU

### BASIS OF THE TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS IN LIQUID METAL PRODUCTION

V. FIGALA<sup>1</sup>, V. KAFKA<sup>2</sup>

**ABSTRAKT:** Náplň příspěvku je věnována vyvíjené metodě technicko-ekonomické analýzy, která je ověřována v provozních podmínkách sléváren. Principem analýzy je posouzení nákladové náročnosti dílčích fází výroby tekutého kovu a hledání možných úspor mezi nimi. Analýza rovněž posuzuje vybrané metalurgické a technologické charakteristiky související s výrobou oceli a litin. V práci se zaměříme na využití metod statistické analýzy u této metody.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** technicko-ekonomická analýza, výroba tekutého kovu, nákladové úspory.

**ABSTRACT:** The aim of the paper is dedicated to technical and economic analysis method, that is verified in working conditions of foundries. The principle of the analysis is cost intensity examination of particular phases in liquid metal production and finding possible savings among them. The analysis also evaluates selected metallurgical and technical characteristics linked with production of steel and cast iron. The article targets the usage of statistical analysis method within technical and economic analysis method.

**KEY WORDS:** technical and economic analysis, liquid metal production, cost savings.

#### 1 TECHNICKO-EKONOMICKÁ ANALÝZA

Jedná se o metodu vyvíjenou za účelem snižování nákladů při výrobě tekutého kovu na tavicích agregátech. Aplikovaný výrobní způsob je posuzován s cílem najít cesty k nákladové redukci při zachování všech jeho stávajících funkcí. Metoda probíhá v šesti základních krocích.

- 1) **Sběr dat prostřednictvím údajů z tavebních listů** (pro výpočet nákladových, metalurgických a technologických charakteristik;
- 2) **Sestavení unikátního nákladového modelu dle podmínek daného podniku;**
- 3) **Rozdělení nákladově oceněných taveb do dílčích výběrových souborů** (dle pecí, vyráběných jakostí, tavičů, pracovních směn, atd.);
- 4) **Provedení statistické analýzy nákladově oceněných taveb** (a rovněž analýza metalurgických a technologických charakteristik) **dělených do dílčích výběrových souborů** (viz. algoritmus hodnocení NVN tekutého kovu, Obr. 2 a [2]);
- 5) **Výběr závislostí, jejich výpočet a hodnocení;**
- 6) **Hodnocení výsledků technicko-ekonomické analýzy;**
- 7) **Závěr technicko-ekonomické analýzy a návrh dalšího postupu.**

<sup>1</sup> Ing. Václav Figala, – Katedra slévárenství, FMMI, VŠB-TU Ostrava

<sup>2</sup> doc. Ing. Václav Kafka, CSc. – RACIO&RACIO, Vnitřní 732, 735 14 Orlová.

Před provedením technicko-ekonomické analýzy je většinou prováděna tzv. prvotní analýza nebo-li tzv. orientační rozbor. Jedná se o úvodní nahlédnutí do podniku realizovaného na menším souboru taveb (nejméně 30).

Nyní podrobněji k jednotlivým krokům technicko-ekonomické analýzy.

## 2 SBĚR DAT Z TAVEBNÍCH LISTŮ

Při sběru dat vycházíme z jednotlivých tavebních listů poskytnutých výrobcem tekutého kovu. V případě, že si slévárna či ocelárna tavební listy nevede (známe i takové případy), jsou jim poskytnuty tzv. prozatímní tavební listy s požadavkem na odsledování požadovaných položek. Z tavebních listů obvykle sledujeme:

- množství vsázky a její jednotlivé položky [kg/tavbu];
- množství kovových a nekovových přísad a jejich jednotlivé položky [kg/tavbu];
- spotřebu elektrické energie [kWh/tavbu];
- hmotnost tekutého kovu [kg/tavbu];
- doby jednotlivých údobí tavby [min/tavbu];
- počet (taveb na vyzdívku, měření teplot za tavbu, analýz tekutého kovu za tavbu atd.) [-];
- teplotu tek. kovu (poslední měřenou teplotu v peci, teplotu v pánvi po odlití z pece) [ $^{\circ}\text{C}$ ];
- analýzy tekutého kovu [%].

Samozřejmostí jsou základní informace o pecním agregátu (typ, nominální hmotnost vsázky, atd.), jakosti tekutého kovu, datu a čase tavby, směně a provádějícím taviči.

## 3 SESTAVENÍ NÁKLADOVÉHO MODELU

Nákladový model je sestaven na základě kalkulace neúplných vlastních nákladů – dále NVN. Tzn. bere v úvahu jen ty náklady, které přímo souvisí s výrobou tekutého kovu a jsou výrobním střediskem přímo ovlivnitelné. Nezahrnuje tedy např. osvětlení hal, odpisy, správní režii apod. Náklady jsou vždy stanovovány na určitou kalkulační jednici (kupříkladu tunu tekutého kovu atd.). Prostřednictvím zmíněného kalkulačního vzorce jsou jednotlivé tavby nákladově oceněny (s využitím dat získaných z tavebních listů).

***Kalkulační vzorec neúplných vlastních nákladů výroby tekutého kovu má obvykle tuto podobu:***

### A) MATERIÁLOVÉ NÁKLADY:

- vsázky;
- přísad;

### B) ZPRACOVACÍ NÁKLADY:

- na energii použitou k tavení (kupříkladu elektrickou, zemní plyn, ale i kyslík, argon apod.);
- úměrné době tavby;
- ostatní.

---

## NEÚPLNÉ VLASTNÍ NÁKLADY TEKUTÉHO KOVU

Pro další postup vycházíme ze skutečnosti, že NVN tekutého kovu rozdělujeme na dvě hlavní skupiny, a to materiálové a zpracovací. U materiálových nákladů posuzujeme náklady na vsázku a přísady (kovové a nekovové). U zpracovacích nákladů hodnotíme náklady na tavicí energii

(kupříkladu elektrickou), náklady úměrné době tavy (osobní náklady, náklady na vyzdívku a výdusku pece, náklady na grafitové elektrody atd.). Dále ostatní zpracovací náklady (na měření teploty kovu, na analýzy kovu a strusky a další).

Tímto způsobem například zjistíme, kolik činí NVN výroby konkrétní jakosti kovu. Jaký podíl z těchto nákladů tvoří vsázka, přísady, elektrická energie atd. Na základě těchto informací obdržíme detailní přehled o nákladové náročnosti každé tavy.

#### 4 ROZDĚLENÍ TAVEB DO DÍLČÍCH VÝBĚROVÝCH SOUBORŮ

Pro provedení statistické analýzy je nutné rozdělit jednotlivé nákladově oceněné tavy dle potřeby do dílčích výběrových souborů. Výběrové soubory bychom měli vždy porovnávat za přísně srovnatelných podmínek. Máme tím na mysli například porovnání NVN vynaložených na výrobu tekutého kovu u taviče A pracujícího na peci 1 na ranní směně s NVN taviče B na peci 1 také na ranní směně atd. Zároveň bychom měli dbát na to, aby pro každý výběrový soubor bylo k dispozici minimálně 20 – 30 hodnot (aby výsledky statistické analýzy byly vypovídající).

##### **Příklad:**

Máme k dispozici 300 nákladově oceněných taveb jedné jakosti oceli. Abychom mezi sebou mohli porovnávat jednotlivé tavy za přísně srovnatelných podmínek, musíme v souboru eliminovat ty faktory, které mohou mít vliv na zkreslení statistických výsledků.

Např.:

- eliminujeme vliv tavičů tím, že si soubor 300 taveb rozdělíme na 160 taveb taviče A a 140 taveb taviče B;
- pokud je ocel vyráběna ve dvou či více různých pecích, eliminujeme vliv pece tím, že si soubor 300 taveb rozdělíme podle druhu pece např. na 170 taveb tavených na peci 1 a 130 taveb tavených na peci 2 (zároveň respektujeme dělení dle tavičů);

*Tzn. ve výsledku máme soubor 300 taveb rozdělen na 80 taveb tavených tavičem A na peci 1, 80 taveb tavených tavičem A na peci 2, 90 taveb tavených tavičem B na peci 1 a 50 taveb tavených tavičem B na peci 2.*

- dále využíváme dělení podle pracovních směn (ranní, odpolední, noční), pořadí taveb na směně, dnů v týdnu, počtu sázecích košů atd.

Ovlivňujících faktorů může být v závislosti na podmínkách každé slévárny či ocelárny celá řada. Proto se dělení do dílčích výběrových souborů liší případ od případu. Rozhodnutí o podobě dělení pro danou slévárnu vždy vychází z konkrétních podmínek hodnocené slévárny.

#### 5 STATISTICKÁ ANALÝZA NÁKLADOVĚ OCENĚNÝCH TAVEB

Při statistické analýze vycházíme z nákladově oceněných taveb rozdělených do dílčích výběrových souborů. Pro každý výběrový soubor jsou nejprve vypočteny základní statistické charakteristiky:

- *minimální a maximální hodnoty výběrového souboru;*
- *střední hodnoty* (aritmetický průměr, medián);
- *ukazatelé variability* (rozptyl, směrodatná odchylka, variační rozpětí, variační koeficient).

Dílčí výběrové soubory jsou rovněž hodnoceny graficky, a to pomocí:

- *histogramů četnosti;*
- *intervalů spolehlivosti;*
- *boxplotů.*

S využitím výše uvedených statistických charakteristik jsme schopni jednotlivé dílčí výběrové soubory mezi sebou kvalifikovaně porovnat. Důraz je kladen na zjištěné rozdíly mezi středními hodnotami porovnávaných souborů a jejich variabilita (schopnost opakovatelnosti daného výsledku).

V běžné praxi se setkáváme s případy, kdy jsou mezi sebou porovnány průměrné náklady dvou výběrových souborů. Zjištěný rozdíl mezi nimi činí např. 300 Kč/t tekutého kovu. Tímto konstatováním však mnohdy hodnocení končí. Tento přístup není zcela ideální.

V dalším kroku totiž by mělo následovat ověření, zda zjištěný rozdíl mezi porovnávanými soubory je statisticky významný či nikoliv. K tomu ve statistice slouží tzv. testování hypotéz.

### **Princip testování hypotéz**

**Testování hypotéz** (určitého tvrzení) využijeme, pokud máme předpoklad (podezření), že mezi soubory existuje významný rozdíl.

**Testujeme nulovou hypotézu  $H_0$  oproti alternativní hypotéze  $H_A$ :**

$H_0$  ... tzv. nulová hypotéza neboli jednoduché tvrzení o neexistenci rozdílu;

$H_A$  ... tzv. alternativní hypotéza neboli zamítnutí nulové hypotézy.

Kritériem vedoucím k rozhodnutí ve prospěch  $H_0$  nebo  $H_A$  je statistická významnost testu hypotézy tzv. p-hodnota.

Pokud:

$p \leq 0,05$  ... nulovou hypotézu  $H_0$  zamítáme ve prospěch alternativní hypotézy  $H_A$ ;

$p > 0,05$  ... nulovou hypotézu  $H_0$  nezamítáme a považujeme ji za platnou [1].

Testování hypotéz provádíme vždy na určité hladině významnosti  $\alpha$ . Hladina významnosti vyjadřuje pravděpodobnost, s jakou zamítnu hypotézu, která platí. Pokud  $\alpha = 0,05$ , tzn. 5 %, pak při testování hypotéz s 5% pravděpodobností zamítnu hypotézu, která platí nebo nezamítnu hypotézu která neplatí. Naopak s 95% pravděpodobností se při rozhodování rozhodnu správně.

### **Princip testování statistické významnosti dvou středních hodnot:**

V závislosti na tom, zda mají porovnávané výběrové soubory normální rozdělení či nikoliv, využijeme k testování hypotéz pro hodnocení statistické významnosti zjištěného rozdílu mezi středními hodnotami některý z následujících testů. A to buď **dvouvýběrový t-test** (porovnání dvou aritmetických průměrů – v případě normálního rozdělení) nebo **wilcoxonův test** (porovnání dvou mediánů – v případě že výběrový soubor nemá normální rozdělení). Princip těchto testů je popsán na příkladu a schématu (Obr. 1) níže.

Teprve na základě výše uvedených testů můžeme např. s 95% pravděpodobností (v závislosti na hladině významnosti) konstatovat, zda je rozdíl mezi středními hodnotami dvou výběrových souborů významný či nikoliv.

#### ***Dvou výběrový t-test***

Jsme postaveni před úkol posoudit, zda rozdíl mezi středními hodnotami dvou výběrových souborů je či není statisticky významný. Pro názornost uvádíme následující příklad. Porovnáváme dva výběrové soubory; u nichž hodnotíme statistickou významnost rozdílných NVN vynaložených na výrobu 1 t tekutého kovu. Charakteristiky posuzovaných souborů jsou uvedeny v Tab. 1.

**Tab. 1 – Statistické charakteristiky vybraných výběrových souborů**

Statistické charakteristiky	Soubor 1	Soubor 2
Aritmetický průměr	$\mu_1 = 13\,199 \text{ Kč/t}$	$\mu_2 = 14\,471 \text{ Kč/t}$
Rozptyl*	$\sigma_1^2 = 476\,288 \text{ Kč/t}$	$\sigma_2^2 = 2\,261\,204 \text{ Kč/t}$
Rozsah souboru	$n_1 = 15$	$n_2 = 7$

\* Rozptyl je definován jako střední hodnota kvadrátů odchylek od střední hodnoty



**Jsou formulovány následující hypotézy:**

**A)  $H_0: \mu_1 = \mu_2$  za předpokladu že:**

a)  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$  (rovnost středních hodnot pro shodné rozptyly);

b)  $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$  (rovnost středních hodnot pro rozdílné rozptyly).

$H_0$  říká, že mezi středními hodnotami dvou výběrových souborů není statisticky významný rozdíl (buď při shodě nebo rozdílnosti rozptylů).

**B)  $H_A: \mu_1 \neq \mu_2$  za předpokladu že:**

a)  $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$  (rozdílnost středních hodnot pro shodné rozptyly);

b)  $\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$  (rozdílnost středních hodnot pro rozdílné rozptyly).

$H_A$  říká, že mezi středními hodnotami dvou výběrových souborů existuje statisticky významný rozdíl (buď při shodě nebo rozdílnosti rozptylů).

**Předpoklad provedení dvou výběrového t-testu:**

1) Normální rozdělení obou hodnocených souborů (*v našem případě má „Soubor 1“ i „Soubor 2“ normální rozdělení*);

2) Provedení testu shody rozptylů prostřednictvím F-testu. U F-testu je podobně jako u t-testu rozhodujícím statistickým kritériem p-hodnota /viz kapitola 5, „princip testování hypotéz“/. Tzn. pokud:

a)  $p \leq 0,05$ , rozdíl mezi rozptyly dvou výběrových souborů je statisticky významný;

b)  $p > 0,05$ , rozdíl mezi rozptyly dvou výběrových souborů není statisticky významný.

*V našem případě  $p = 0,064$ , tzn.  $p > 0,05 \Rightarrow$  nezamítáme hypotézu, že rozptyly obou porovnávaných souborů ze statistického hlediska nejsou rozdílné.*

3) S předpokladem shody či rozdílnosti rozptylů dále provádíme testování dvou středních hodnot. Zde rovněž platí, že pokud:

a)  $p \leq 0,05$ , rozdíl mezi středními hodnoty dvou výběrových souborů je statisticky významný;

b)  $p > 0,05$ , rozdíl mezi středními hodnotami dvou výběrových souborů není statisticky významný.

**Závěr k provedenímu dvou výběrovému t-testu:**

*V případě:*

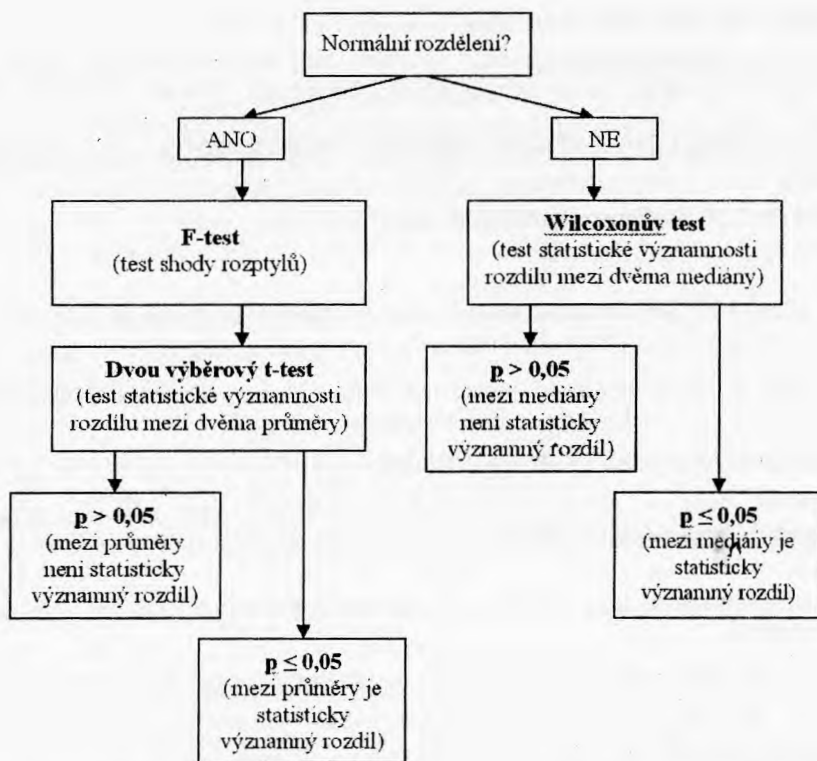
3a) **zamítáme** nulovou hypotézu  $H_0$ , **přijímáme**  $H_A$  a konstatujeme, že **rozdíl** mezi středními hodnotami dvou výběrových souborů je **statisticky významný**.

Na první pohled je zřejmé, že mezi středními hodnotami námi posuzovaných souborů existuje rozdíl – **1 272 Kč/t** tekutého kovu (viz. Tab. 1). Zda je tento rozdíl významný ze statistického hlediska nám ověřuje výše popsany **dvou výběrový t-test**. Při testování „souboru 1“ a „souboru 2“ byla zjištěna p hodnota ve výši  $p = 0,045$ , tzn.  $p \leq 0,05$ . Na základě tohoto zjištění konstatujeme, že mezi hodnocenými soubory **existuje** z hlediska NVN vynaložených na výrobu tekutého kovu **statisticky významný rozdíl**. V dalším kroku technicko-ekonomické analýzy tedy bude nutné zjistit příčiny tohoto významného rozdílu NVN.

3b) **nezamítáme** nulovou hypotézu  $H_0$  a konstatujeme, že rozdíl mezi středními hodnotami dvou výběrových souborů **není statisticky významný**.

Také v případě statisticky prokazatelně nevýznamného rozdílu mezi porovnávanými výběrovými soubory se z principu opatrnosti jakýmkoliv zjištěným rozdílem dále zabýváme.

Jak již bylo zmíněno výše, obdobným způsobem lze provést testování hypotéz v případě, že soubory nemají normální rozdělení. V takové situaci využíváme **Wilcoxonova testu** (v některých softwarech nazýván testem Mann Whitney), který srovnává rovnost mediánů porovnávaných souborů. Testu středních hodnot v tomto případě nepředchází test shody rozptylů tzv. F-test.



Obr. 1: Schéma testování statistické významnosti dvou středních hodnot

Podrobné schéma hledání příčin rozdílných NVN prostřednictvím výsledků statistické analýzy je uvedeno na vývojovém diagramu (Obr. 2.) [2] a popsáno v kapitole 6.

## 6 HODNOCENÍ VÝSLEDKŮ STATISTICKÉ ANALÝZY

Po provedeném statistickém testování středních hodnot naznačíme následující rozhodovací kroky.

- 1) Porovnání *NVN* u dvou hodnocených výběrových souborů:
  - a) **NE**, mezi středními hodnotami NVN výběrových souborů nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl. Zjištěný nákladový rozdíl středních hodnot mezi NVN u obou výběrových souborů je tedy výsledkem vysoké měnlivosti dat.
  - b) **ANO**, mezi středními hodnotami NVN výběrových souborů byl zjištěn statisticky významný rozdíl. Následně hledáme příčiny „objektivně“ rozdílných NVN nejprve v materiálových nákladech a následně ve zpracovacích nákladech.
- 2) Porovnání *materiálových nákladů* u dvou hodnocených výběrových souborů:
  - a) **NE**, mezi středními hodnotami materiálových nákladů námi porovnávaných výběrových souborů nebyl zjištěn statisticky významný nákladový rozdíl. Odhalený nákladový rozdíl středních hodnot mezi materiálovými náklady obou výběrových souborů je tedy výsledkem vysoké variability dat.
  - b) **ANO**, mezi středními hodnotami výběrových souborů byl zjištěn statisticky významný rozdíl. Následně hledáme příčiny „objektivně“ rozdílných materiálových nákladů nejprve v nákladech na vsázku a poté v nákladech na přísady

Výše uvedený postup hodnocení je popsán rovněž na vývojovém diagramu uvedeném na Obr. 2. Z důvodu svého rozsahu je algoritmus v plné velikosti umístěn na [2].

Stejným způsobem (jako u NVN a materiálových nákladů) postupujeme podle [2] i u ostatních dílčích nákladových položek posuzovaných neúplných vlastních nákladů.

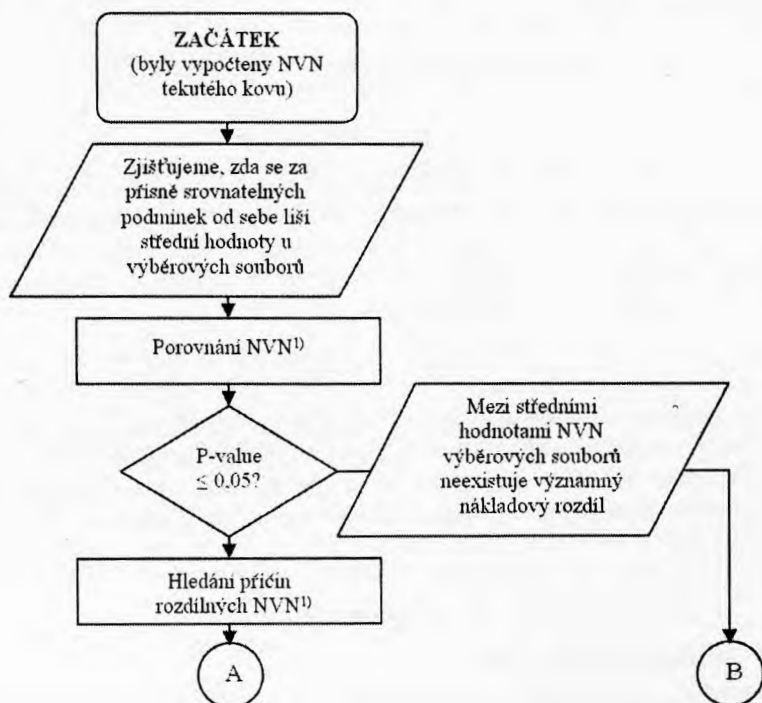
Uvedený postup – statisticky významných rozdílů mezi středními hodnotami – je veden až do vytýčení konkrétních problémů, které je třeba řešit. Tedy takto docházíme kupříkladu k závěru viz [2], že statisticky významný rozdíl mezi středními hodnotami je kupříkladu pouze u vsázky (pak se v první řadě zaměřujeme na její skladbu).

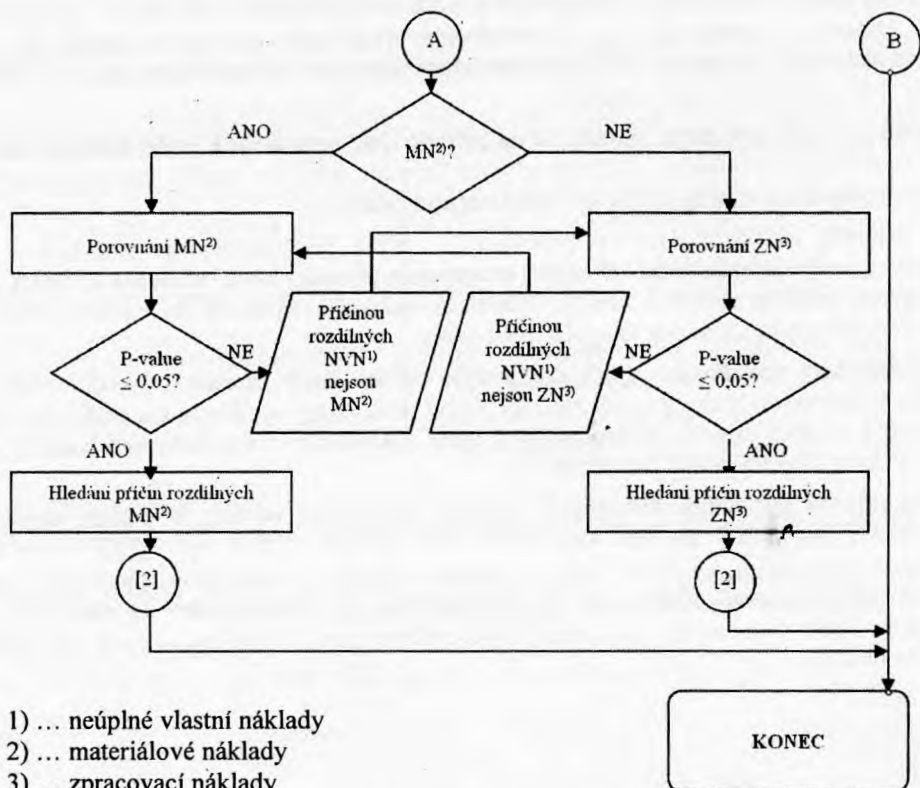
Výsledkem může být závěr zaměřit se na přísady. Pak samozřejmě bude otázkou zda jsou to přísady kovové nebo nekovové. V daném případě již bude nutné se zaměřit jak na vlastní skladbu příslušných přísad, ale také na aplikované metalurgické režimy.

Pro doplnění statistické analýzy nákladových veličin používáme také statistickou analýzu vybraných naturálních ukazatelů. Příkladem je hmotnost tekutého kovu, předváha (propal), tavicích údobí (tavení, oxidace, redukce, apod.). Statistická analýza naturálních ukazatelů je také jedním z významných nástrojů technicko-ekonomické analýzy.

Při praktickém uplatňování statistické analýzy velice často dochází ke skutečnosti, že se neprokáže statisticky významný rozdíl mezi středními hodnotami kupříkladu materiálovými náklady. Skutečností v ocelárnách a ve slévárnách bývá často vysoká měnlivost sledované hodnoty. Tím se pak statisticky významný rozdíl neprokáže.

V tom případě s využitím histogramů četnosti posuzované veličiny a dalších charakteristik zjištěných při statistické analýze zvažujeme další postup. Pokud tyto další charakteristiky jednoznačně nenaznačují, že hlubší analýza přinese poznatky o nákladové redukci tak tuto cestu opouštíme. Obvykle však uplatňujeme princip obezřetnosti a pokračujeme ve statistické analýze dílčích částí. Tedy u vzpomínaných materiálových nákladů posuzujeme jak náklady na vsázku tak i náklady na přísady.





Obr. 2: Algoritmus hodnocení NVN tekutého kovu [2]

## 7 DALŠÍ POSTUP

Po provedení statistické analýzy (v našem případě zejména testování středních hodnot) a provedení rozhodovacích kroků (viz Obr. 2 a [2]) přistupujeme k využití dalších nástrojů. Je to posouzení vytípaných závislostí. Následně se veškerá zjištění koncentrují a snažíme se často se specialisty z oblasti metalurgie, energetiky, žáruvzdorných materiálů konkretizovat adresná doporučení, která přinesou nákladový efekt.

## 8 ZÁVĚR

Příspěvek se zaměřuje na rozpracované fáze statistického hodnocení nákladových a naturálních charakteristik a následné rozhodovací kroky u používané metody technicko-ekonomické analýzy.

Metoda technicko-ekonomické analýzy je velice účinný nástroj k hledání zdrojů úspor v našich slévárnách a ocelárnách. Vede přímo k označení zdroje úspor a ve svém důsledku ke kvantifikaci možného přínosu.

## 9 LITERATURA

- [1] MINITAB®, statistical software – Help
- [2] <http://www.metalurgie-ekonomika.wz.cz/index3.htm> 15.3.2009, 10:00 (k prohlížení je nutno mít nainstalován PDF prohlížeč – např. Acrobat Reader)